

## 9

# FISIOLOGIA DO CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E AMADURECIMENTO DO MAMÃO

*Cintia Aparecida Bremenkamp*

### 1 INTRODUÇÃO

Após a fecundação o ciclo vital dos frutos é composto por três fases fisiológicas, embora uma distinção precisa entre essas não seja viável. Essas fases correspondem ao crescimento, à maturação e à senescência. O desenvolvimento (formação, crescimento e maturação) das plantas e seus órgãos ocorrem seguindo uma série de processos fisiológicos e bioquímicos geneticamente programados (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

Os frutos são órgãos originados do crescimento das estruturas que formam as flores ou inflorescências. No início do crescimento dos frutos, há um estágio de intensa divisão e pequena expansão celular, seguido de uma fase em que o processo de expansão é mais intenso, com grande acúmulo de água e solutos na polpa (BALBINO & COSTA, 2003).

O crescimento corresponde ao aumento irreversível do tamanho ou volume celular, acompanhado pela biossíntese de novos constituintes do protoplasma, ao passo que a diferenciação celular diz respeito às mudanças qualitativas nas células (CHITARRA & CHITARRA, 2005). As variações nos fatores ambientais (luz,

temperatura, precipitação pluviométrica, solo, entre outros) têm influência marcante na fase de desenvolvimento do fruto no campo.

O amadurecimento parece ser um processo coordenado de eventos bioquímicos e reorganizações metabólicas, sendo considerado um processo irreversível.

O objetivo deste trabalho é a identificação dos eventos bioquímicos e metabólicos que ocorrem durante as fases de crescimento, desenvolvimento e amadurecimento de frutos de mamão, uma vez que o conhecimento destas fases é de fundamental importância para obtenção de melhores padrões de qualidade e de adequada conservação pós-colheita dos frutos.

## **2 FISIOLOGIA DO CRESCIMENTO DO MAMÃO**

O volume das células é o fator mais importante no crescimento do fruto. A expansão celular é influenciada pela plasticidade da parede celular, pelo grau de desenvolvimento da parede secundária, pelo turgor e pela resistência do epicarpo e de outras camadas protetoras, sendo tais fatores influenciados pelos reguladores do crescimento e pelo ambiente (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

Segundo Coombe (1976), o volume final do fruto está ligado a três fatores: número, densidade e volume das células dos tecidos desse órgão. Dentre estes, o volume das células é o fator mais influenciado pelas condições de cultivo, como disponibilidade de água e nutrientes, assim como condições de temperatura e umidade relativa. A porcentagem de matéria seca, variável durante a formação do fruto é proporcional à densidade das células.

Estudo realizado por Berilli et al. (2007), o crescimento dos frutos de mamão variou de acordo com os diferentes períodos em que os mesmos se desenvolveram. A partir dos 800 GD (graus-dias), os frutos atingiram comprimentos e diâmetros próximos ao tamanho máximo, com a fase de maturação dos frutos variando de acordo com período de desenvolvimento dos mesmos.

O crescimento do fruto ocorre por meio de diferentes processos fisiológicos e metabólicos, entre os quais se evidenciam os seguintes: inibição dos

mecanismos de oposição ao crescimento; canalização de nutrientes para o órgão em crescimento; produção de energia necessária ao processo; e estímulo dos mecanismos biossintéticos (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

Segundo Coombe (1976), o crescimento caracteriza-se por uma fase inicial estacionária, seguida de um período de crescimento exponencial, finalizando com nova fase estacionária.

O fruto de mamão apresenta acúmulo de aproximadamente 50% da matéria seca nos seus primeiros dois terços de ciclo de vida, ficando os outros 50% para a fase final. Uma vez que nesta fase final o fruto parou de crescer, esse acúmulo de matéria seca deve-se principalmente ao dreno de fotoassimilados, direcionados para a polpa. Estes 50% da matéria seca do fruto inteiro são constituídos em sua maior parte pela polpa, relacionado principalmente ao aumento de volume das paredes celulares (BALBINO & COSTA, 2003).

Ao mesmo tempo em que ocorre o crescimento dos frutos e as transformações metabólicas, ocorrem também alterações na consistência, coloração e crescimento das sementes, que iniciam seu crescimento depois do início do crescimento da polpa. Inicialmente as sementes praticamente não alteram o seu tamanho, ao passo que a polpa apresenta rápido crescimento. Porém, as sementes completam seu crescimento 10 a 20 dias antes do tamanho final da polpa, indicando que ambas apresentam fontes diferenciadas de fotoassimilados (BALBINO & COSTA, 2003).

### **3 FISILOGIA DO DESENVOLVIMENTO DO MAMÃO**

O desenvolvimento do fruto de mamão apresenta diferentes fases (crescimento, maturação, amadurecimento e senescência), que se iniciam após a fertilização (cerca de 13 a 15 dias após a polinização). Após esta fase são observados processos de divisão e expansão celular, com crescimento do zigoto (ROLTH & CLAUSNITZER, 1972, apud BALBINO E COSTA, 2003).

O período de desenvolvimento do mamão é variável, sendo dependente de fatores como temperatura média e umidade relativa do ar. Em geral, os frutos de

mamão levam em torno de quatro a sete meses para completar o desenvolvimento total, variando principalmente entre verão, quando o ciclo é mais curto, e inverno, quando o ciclo é mais longo.

Segundo Balbino & Costa (2003), as principais mudanças que ocorrem no fruto de mamão no período de desenvolvimento são:

- **Acúmulo de água** – na polpa do mamão do grupo Solo (Havaí), o conteúdo de água varia durante o seu desenvolvimento, ficando entre 87 a 94% do peso da matéria fresca, sendo o seu principal componente. Além da água, constituem a polpa de mamão, principalmente, carboidratos, vitaminas, sais minerais, aminoácidos e ácidos orgânicos.

Dois fenômenos dependem, pelo menos em parte, do acúmulo de água em relação à parede celular: o crescimento do fruto (expansão da célula) e amolecimento destes. Para a extensão da célula, os seguintes fatores são requeridos: pressão de turgor suficiente, permeabilidade da parede celular adequada e iniciação e manutenção da estrutura (forma, composição) e ruptura das ligações químicas da parede celular. Posteriormente, auxina é necessária.

- **Armazenamento e metabolismo de carboidratos durante o crescimento e amadurecimento** – os carboidratos sacarose, glicose e frutose são os principais constituintes energéticos da polpa de mamão, sendo fundamentais para o sabor do fruto. O total de açúcares em frutos de mamão aumenta progressivamente a partir da antese até 110 a 130 dias, dependendo da cultivar, apresentando um valor máximo no amadurecimento.

O teor de açúcares totais aumenta lentamente durante os primeiros 110 dias do desenvolvimento do fruto (sendo a glicose o açúcar predominante), chegando a 3,4g/100g de polpa, depois ocorre um período de rápido incremento até um pico de 9,8g/100g de polpa, aos 135 dias após a antese. Após os 110 dias, aumenta drasticamente o teor de sacarose, que passa a predominar, porém, a partir dos 135 dias, tendo atingido o pico de concentração, o teor de sacarose decresce rapidamente e o de glicose e frutose aumenta, indicando que a sacarose é hidrolisada a açúcares simples.

Outro carboidrato que aparece na composição de frutos de mamão é o amido, porém em baixíssimas quantidades durante o desenvolvimento (menos de 1%), ao contrário de outras frutas, sendo que o teor máximo de carboidratos solúveis a ser obtido no mamão após a colheita será aquela presente no momento da colheita.

- **Alterações na acidez** – no fruto de mamão predominam os ácidos cítrico e málico, em quantidades iguais, seguidos do ácido alfa-cetoglutárico em quantidade bem menor, os quais, juntamente com o ácido ascórbico, contribuem com 85% do total de ácidos.

Apesar de ser considerada baixa quando considerada baixa durante o seu desenvolvimento, quando comparada a outras frutas, mesmo assim ela decresce gradualmente até 120-130 dias após a antese, se mantendo, daí em diante, estável. O decréscimo pode ser causado pela diluição dos ácidos durante a intensa expansão dos tecidos na fase inicial do desenvolvimento do fruto.

#### **4 FISILOGIA DO AMADURECIMENTO DO MAMÃO**

O amadurecimento é a fase mais estudada na pós-colheita de frutos, principalmente por ser nessa fase que as mudanças na composição dos frutos ocorrem com mais intensidade. De acordo com Watada et al. (1984) apud Bron (2006), o amadurecimento é a fase que ocorre no final do desenvolvimento e início da senescência, composta por processos que determinam as características de qualidade, evidenciadas por mudanças na composição, coloração, textura e outros atributos sensoriais.

As várias alterações que ocorrem principalmente no final do período de desenvolvimento dos frutos vão levar ao amadurecimento. As principais alterações que ocorrem no amadurecimento dos frutos de mamão são: o aumento no tamanho dos frutos e das sementes, alteração do teor de açúcar total na polpa de cerca de 3% para cerca de 9%, seguida de mudança na consistência e na cor das sementes de branca para preta, mudança na coloração interna de branca para amarela, e por

fim, a mudança externa da cor da casca de verde para amarela ou vermelha (BALBINO & COSTA, 2003).

A alteração na cor da casca do mamão, mudando de verde para amarela se deve a uma maior destruição de clorofila, pigmento responsável pela coloração verde e aumento na síntese de xantofila e carotenóides, que conferem uma coloração amarelada (CHITARRA & CHITARRA, 1990 apud YAMANISHI et. al, 2005).

O amolecimento, durante o amadurecimento de muitos frutos, é ocasionado por modificações dos polissacarídeos da parede celular, pela ação de enzimas pectinolíticas tais como a pectinametilesterase, b-galactosidase e poligalacturonase (PG) que, juntamente com a perda de água, contribuem para as mudanças de textura (FAGUNDES; YAMANISHI, 2001 apud LOPES et al., 2005).

A degradação de protopectina da lamela média e da parede celular primária, o aumento da pectina solúvel e a perda de açúcares neutros não-celulósicos, relatados durante o amadurecimento dos frutos (Gross e Sams, 1984 apud BICALHO et al., 2000), têm sido sugeridos como causas principais da perda da textura.

Embora a perda de turgência, degradação do amido e a subsequente diminuição no seu conteúdo possam contribuir com o amadurecimento e mudança na textura dos frutos, está claro que as maiores modificações envolvendo os componentes polissacarídeos são resultado das ações das enzimas hidrolíticas que aceleram a separação e diferenciação das estruturas da parede celular primária e da lamela media (PAIVA, 2008).

Segundo Balbino & Costa (2003), citando Calegário (1997) que observou que há um aumento gradual no amaciamento dos tecidos dos frutos de mamão e que 140 dias após a antese há uma queda drástica no valor da firmeza da polpa, correspondendo ao amadurecimento do fruto da planta.

O amolecimento do mamão acontece no período de 6 a 12 dias (após a colheita) quando o fruto é colhido no estágio *break*, em que se observa o início do desaparecimento da cor verde, juntamente com o aparecimento de alguns traços de coloração amarela na extremidade basal. As mudanças texturais são atribuídas

à atividade de enzimas que degradam a parede celular e não à degradação de amido, uma vez que já foi constatado que o fruto não tem este constituinte durante a ontogenia (Chan Jr. et al. 1979, apud BICALHO et al., 2000).

Em frutos, já está bem estabelecido que as mudanças texturais, em grande parte, são resultados da hidrólise mediada por mecanismos enzimáticos e/ou não enzimáticos que, de certo modo, influenciam a arquitetura da parede celular. D'Innocenzo (1996) observou, em mamões, as atividades da poligalacturonase e da pectinametilesterase em vários estágios de desenvolvimento dos frutos e concluiu que o amolecimento ocorria quando a atividade da pectinametilesterase era mínima e a da poligalacturonase era máxima.

Giovannoni et al. (1989) apud Lopes et al. (2005) associaram a ação da poligalacturonase (PG) com a perda de textura, degradação de ligações pécticas na lamela média e parede celular primária. A PG catalisa a hidrólise das ligações glicosídicas a -1,4 entre resíduos de ácido galacturônico no interior da cadeia de pectina (KONNO et al., 1983), destacando-se entre as enzimas envolvidas nos processos de amadurecimento dos frutos, dado este confirmado por Lopes et al. (2005) em estudos com mamão.

CAVALARI et al. (2005) em estudo com frutos de mamão observaram que, ao final do processo de desenvolvimento, a proporção de hemiceluloses baixou de cerca de 40% para apenas 10% do total da parede e a proporção de celulose tornou-se praticamente desprezível, o que poderia, segundo os autores, explicar as alterações na dureza e textura da polpa ao longo do amadurecimento.

As principais alterações que ocorrem durante a maturação e se refletem nos atributos da qualidade dos frutos, segundo Chitarra & Chitarra (2005) são:

- Desenvolvimento das sementes;
- Síntese protéicas (enzimas);
- Modificação na permeabilidade das membranas celulares;
- Elevação da atividade respiratória;
- Síntese de etileno;

- Modificação na pigmentação: degradação da clorofila, com aparecimento de pigmentos pré-existentes, síntese de carotenóides e flavonóides;
- Modificação da textura: solubilização das pectinas e hidrólise de polissacarídeos estruturais da parede celular;
- Modificação do sabor e do aroma: hidrólise de polissacarídeos de reserva, interconversão de açúcares, síntese e/ou degradação de ácidos orgânicos; polimerização de fenólicos e síntese de compostos voláteis (aromáticos).

## 5 CONCLUSÃO

Diversos processos fisiológicos ocorrem nas diversas fases do processo de desenvolvimento dos frutos e o conhecimento e a percepção destas fases possibilitam manuseio adequado dos frutos nas fases de pré e pós-colheita, visando obter-se o seu melhor padrão de qualidade e adequada conservação.

## 6 REFERÊNCIAS

BALBINO, J. M. de S. & COSTA, A. de F. S. da. Crescimento e desenvolvimento dos frutos do mamoeiro do 'Grupo Solo' e padrão de qualidade. In: MARTINS, D. dos S. & COSTA, A. de F. S. (Eds). **A cultura do mamoeiro: Tecnologias de Produção**. Vitória: Incaper, 2003.

BERILLI, S. da S.; OLIVEIRA, J. G. de; MARINHO, A. B. et al. Avaliação da taxa de crescimento de frutos de mamão (*Carica papaya* L.) em função das épocas do ano e graus-dias acumulados. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 29, n. 1, p. 011-014, Abril 2007.

BICALHO, U. de O.; CHITARRA, A. B.; CHITARRA, M. I. F.; ROMANIELLO, A. H. Modificações texturais em mamões submetidos à aplicação pós-colheita de cálcio e embalagem de PVC. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.24, n.1, p. 136-146, jan./mar., 2000.



BRON, I. U. **Amadurecimento do mamão 'Golden'**: ponto de colheita, bloqueio da ação do etileno e armazenamento refrigerado. 2006. 67 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2006.

CAVALARI, A. A.; BUCKERIDGE, M.S.; TINÉ, M.A.S.; SILVA, C.O. Modificações da parede celular de mamão (*Carica papaya*) durante o desenvolvimento do fruto. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. v, 17, suplement. Recife, 2005.

CHITARRA, M. I. F. & CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005.

COOMBE, B. G. The development of fleshy fruits. **Annual review of Plant Physiology**, v. 27, p. 207-228, 1976.

D'INNOCENZO, M. **Comportamento de enzimas da parede celular e textura da polpa relacionados ao tratamento de irradiação de mamões (*Carica papaya* L. cv. Solo) durante o amadurecimento**. Piracicaba: ESALq, 1996. 85p. (Dissertação - Mestrado em Ciências).

LOPES, B. F.; SOPRANI, J.; GALLON, C. Z. et al. Atividade da enzima poligalacturonase durante o amadurecimento do mamão (*Carica papaya* L.) cv. Golden e Gran Golden. In: MARTINS, D. dos S. (Ed.). **Papaya Brasil**. Vitória: Incaper, 2005.

PAIVA, E.P. **Constituintes da parede celular de duas cultivares de mamão: influência do estágio de maturação**. 2008. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Programa de Pós-graduação em Nutrição, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

YAMANISHI, O. K.; FAGUNDES, G. R.; MACHADO FILHO, J. A. et. al. Comportamento da maturação de mamão Tainung 1 cultivado em Brasília-DF. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 27, n. 2, p. 314-316, Agosto 2005.